Quantitatives über Strassenbahnstörungen im Rundfunkempfang

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Werner Bernitt

aus Ribnitz.

1927

Heinedruck Rostock, Augustenstraße 36

Referent: Professor Dr. W. Schottky.

Inhaltsverzeichnis:

I. Abschnitt. Einleitende Uebersicht, Problemstellung.

II. Abschnitt. Versuchsbedingungen.

a) Die Rostocker Straßenbahn,

b) Die Empfangsanordnung.

III. Abschnitt. Versuche.

a) Störungsausbreitung,
1. senkrecht zur Linie,
2. längs der Linie,
3. Einfluß von Speisepunkten,
4. Einfluß anderer Wagen.

b) Intensität der Störungen,
1. Materialeinfluß,
2. Einfluß von Kondensatoren,
3. zur Theorie der Kondensatorwirkung.

c) Laboratoriumsversuche.

Zusammenfassung.

Meinen lieben Eltern!

I. Einleitende Uebersicht, Problemstellung.

Einen brauchbaren radiotelegraphischen Empfang kann man nur erhalten, wenn die Feldstärke des zu empfangenden Senders über einem bestimmten Werte liegt. Dieser Wert wird außer von dem Schwellenwert der Empfangsanordnung durch die durchschnittliche Feldstärke der unerwünscht mit aufgenommenen Störungen bestimmt; nach K. W. Wagner[1]) ist er als „Störspiegel" in der Störbefreiungstechnik bekannt. Den Störspiegel an den Empfangsorten auf allermöglichst niedrige Werte zu beschränken, ist eine für die Entwicklung des Rundfunkwesens grundlegende Forderung.

Der Störspiegel enthält Störungsfeldstärken verschiedenster Herkunft. Beim Empfang eines erwünschten Senders können fremde Sender stören. Es wird sich dabei in den wenigsten Fällen um Rundfunksender handeln; die 1926 erfolgte internationale Frequenzverteilung, die Abstände von 10 kHertz zwischen zwei wellenbenachbarten Ortssendern vorsieht, beseitigt praktisch wenigstens für einen modernen Empfänger mit genügender Selektivität die Störungen durch Nachbarsender. Sehr unangenehm sind dagegen die Wirkungen des öffentlichen Seefunkverkehrs an der Küste. Indessen hat die Deutsche Reichspost Schritte unternommen, um den Rundfunkempfang zu sichern, teils durch technische Maßnahmen — es wurden in den letzten beiden Jahren die Löschfunkensender der Küstenfunkstellen durch moderne tönende Röhrensender ersetzt, — teils durch Maßnahmen organisatorischer Natur — es wurde den deutschen Schiffen in einem gewissen Bereich längs der deutschen Küste die Benutzung von Wellen im Gebiet der Rundfunkfrequenzen untersagt.

Besonders im Sommer machen sich im Empfänger weitere Störungen bemerkbar, deren Herkunft in den meisten Fällen vorläufig noch unbekannt ist; man hat Ihnen den Namen „atmosphärische Störungen" gegeben. Die Klärung ihres Charakters dürfte mit zu den schwierigsten Kapiteln der Störbefreiungstechnik gehören. Es kann hier auf Arbeiten von M. Bäumler im „Jahrbuch für drahtlose Telegraphie" verwiesen werden.

Während die atmosphärischen Störungen, wie mehrfach beobachtet worden ist, an Orten, die in großer Entfernung voneinander liegen, gleichzeitig auftreten, ist der Wirkungskreis der sogenannten „lokalen" Störungen enger gezogen. Ihre Quelle sind elektrische Betriebe mannigfachster Art. So erzeugt jeder Gleichstrommotor mit Kollektor in seiner näheren oder weiteren Umgebung ein elektromagnetisches Störfeld. Die Reichweite der Motorstörungen hängt von vielen Faktoren ab, vor allem von der Beschaffenheit der Schleifbürsten.

Eine noch allgemeinere und wohl die unangenehmste Quelle elektrischer Störungen können in Groß- und Mittelstädten die elektrischen Straßenbahnen in den Gebieten längs der Bahnlinien bilden. Sie treten hauptsächlich in den Abend- und Nachtstunden auf und erzeugen dann auf ziemlich große Entfernungen hin einen außergewöhnlich hohen Störspiegel. Ueber Straßenbahnstörungen sind bisher neben kleineren Veröffentlichungen, u. a. von E. Schröder, Rostock, zwei grundlegende Arbeiten von F. Eppen in der „Elektrotechnischen Zeitschrift" 1924 und 1927 erschienen. Die erste Arbeit[2]) befaßt sich mit der Untersuchung der Herkunft der Störungen, deren unangenehmste Art neben dem vereinzelten Knacken beim Umschalten von einer Stufe des Anlassers auf die andere und dem zischenden oder singenden Kollektorengeräuschen der Maschinen folgendermaßen beschrieben wird: „Ruckartig setzt ein starkes Rauschen ein, das in kurzer Zeit in Knattern übergeht. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Knackern werden nun ständig größer und größer bis zu einer Sekunde und mehr, und schließlich hören die Störungen ganz auf." Mit Hilfe von Versuchsfahrten stellte der Verfasser dann als wesentlichen Faktor zur Erzeugung dieser Störungen den Beleuchtungsstrom fest. Die beobachteten Störungen traten nur auf, wenn bei Leerlauf des beleuchteten Wagens Unterbrechungen des fließenden Lichtstromes zwischen Oberleitung und Stromabnehmer (Rolle) stattfanden. Mit dieser Feststellung war ein wichtiger Schritt getan. Zur Beseitigung der Störungen schlug F. Eppen hauptsächlich vor:

1. Verbesserung des Kontaktes (Rolle/Fahrdraht) durch günstige Wahl des Rollenmaterials (elektrische Maßnahmen) und durch eine zweckmäßige Konstruktion des ganzen Stromabnehmers, die ein möglichst sicheres Anliegen der Rolle gewährleistet (mechanische Maßnahmen).

2. Erhöhung des Licht- (und evtl. Heiz-) stromes auf ca. 2,5 Amp., da dann nach W. Burstyn[3]) die fragliche Unterbrechung einen Lichtbogen hervorbringt und nicht mehr wie bei geringeren Stromstärken oszillatorisch durch einen Funken erfolgt, durch den dann das System Oberleitung/Wagen/Erde zu störenden Hochfrequenzschwingungen angeregt wird.

In der zweiten Arbeit[4]) weist der Verfasser auf die Notwendigkeit hin, sowohl die Häufigkeit als auch die Stärke der Störungen zu verringern. Ersteres hofft er durch zweckmäßige Formgebung des Stromabnehmers, letzteres durch günstige Auswahl des Materials der Rolle bzw. des Schleifstückes zu erreichen. Durch Laboratoriumsuntersuchungen wird festgestellt, daß Kohle und Zink im Sinne größter Störbefreiung am besten wirken. Der Verfasser bespricht weiter vorgeschlagene Verfahren, die Beseitigung der Störungen durch den Einbau besonderer Apparate zu erreichen und geht zum Schluß auf Störungen durch Lichtsignale und Motore ein.

Die vorliegende Arbeit soll quantitative Beiträge zur Frage der Ausbreitung und Materialabhängigkeit der Straßenbahnstörungen liefern. Entstanden aus einem lokalen Bedürfnis — zur Zeit ihres Beginns war der Rundfunkempfang in Rostock wegen der damals benutzten Aluminiumbügel der Rostocker Straßenbahn in der Nähe der Bahnlinien fast unmöglich — wird sie doch, wie wir hoffen, in ihren Ergebnissen genug Allgemeingültiges aufweisen, um auch anderen Städten und Körperschaften bei der jetzt allgemeineren Beschäftigung mit diesem Problem Dienste zu leisten.

Die angestellten Untersuchungen befassen sich ausschließlich mit der elektrischen Seite des Problems. Der erste Teil der Versuche behandelt die Ausbreitungsverhältnisse der Störungen im Bahnnetz und seiner Umgebung. Im nächsten Abschnitt wird die Intensität der Störungen in Abhängigkeit vom Schleifstückmaterial, von der Stärke des unterbrochenen Stromes (Grenzstromstärke) und von Schaltelementen (Kondensatoren) untersucht. Der letzte Teil beschreibt eine Ersatzschaltung und berichtet über die damit angestellten Versuche.

II. Versuchsbedingungen.

a.) Die Rostocker Straßenbahn.

Die Straßenbahn in Rostock arbeitet mit 500 Volt Gleichstrom. Die Netzlänge beträgt 12 km. Gespeist wird die Leitung an drei Stellen, am Elektrizitätswerk und an zwei Speisepunkten auf der Strecke. Die beiden letzteren sind mit der Spannungsquelle durch ein in Erde verlegtes Kabel von 10 mm² Querschnitt verbunden. Die Oberleitung liegt am positiven Pol der Spannungsquelle. Sie ist im Mittel 5 m über Erde verlegt; als Fahrdraht dienen ein oder zwei in 10—15 cm Entfernung voneinander verspannte blanke Kupferdrähte von 65 mm² Querschnitt. In der Stadt wird die Oberleitung durch an den Häuserfronten verankerte Abspannungen isoliert gehalten. Auf Außenstrecken wird sie durch eiserne Masten gestützt. Der Fahrstrom wird durch die Schienen rückgeleitet. Diese sind in den meisten Fällen geschweißt; die gelaschten Stöße sind durch Kupferverbindungen überbrückt. Die Motorwagen erhalten den Fahrstrom durch Bügelabnehmer, deren 100 cm langes Schleifstück mit einem Druck von 4 kg an der Oberleitung liegt. Bis vor wenigen Jahren wurden mit dem Bügelgestell starr verbundene Aluminiumschleifstücke verwandt. Dann ging man zur Einführung moderner Konstruktionen über, an denen besonders die breite Schleiffläche (8—10 cm) und die bewegliche Anordnung des meist 3-kantigen Schleifstückes zu erwähnen sind. Beides sind Verbesserungen, die sowohl betriebstechnisch wie auch in Hinsicht der Rundfunkstörbefreiung einen wesentlichen Fortschritt bedeuten. In Rostock werden zu 75% Kohleschleifstücke von Conradty-Nürnberg, zu 25% Messingschleifstücke (AEG-Radio-Sparbügel) gebraucht. Die Beleuchtung der Wagen erfolgt durch 2 oder 3 Lampenkreise zu je 5 Lampen. Jeder wird von 0,23 Amp. durchflossen. — In der Stadt besteht 3-minütliche Wagenfolge; die einzelnen Wagen haben einen durchschnittlichen Abstand von 300 m voneinander. Auf den Außenlinien schwankt die Wagenfolge je nach deren Verkehrswichtigkeit zwischen 6 und 15 Minuten.

b.) Die Empfangsanordnung.

Die zur Aufnahme der Störungsgeräusche dienende Empfangsanordnung war fahrbar. Als Empfänger diente ein 4-Röhrengerät, das vom Zentrallaboratorium der Siemens u. Halske A.-G. für die Versuche freundlichst zur Verfügung gestellt war. Der Empfänger und die dazu gehörigen Akkumulatoren und Batterien waren im Innern des kastenförmigen Aufsatzes eines Karrens untergebracht. Auf dem

Dach war die Rahmenantenne montiert; diese bestand aus 11 quadratisch über einen Holzrahmen gelegten Windungen von je 1 m Seitenlänge. Ihr Mittelpunkt befand sich in etwa 2,50 m Höhe über dem Erdboden. Es wurde fast ausschließlich mit Kopfhörer empfangen. Um die zu untersuchenden Störgeräusche der Straßenbahn miteinander vergleichen zu können, wurde folgende von W. Schottky angegebene Zusatzapparatur (Abb. 1) verwendet:

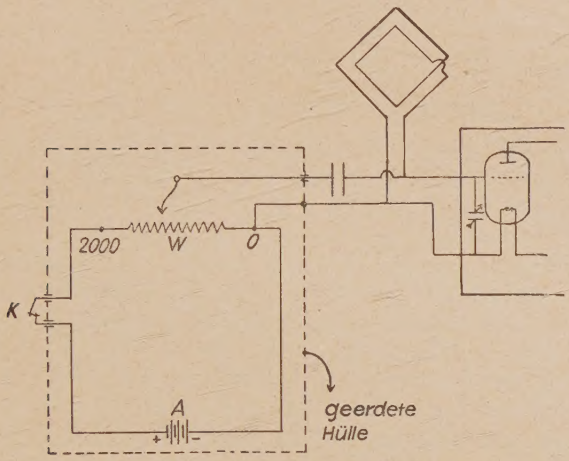

Abb. 1. Zusatzapparatur zum Vergleichen der Störgeräusche

Eine Trockenbatterie A von 62 Volt ist über einen als Spannungsteiler dienenden Kurbelwiderstand W so geschaltet, daß durch einen Kippschalter K Spannungsimpulse von verschiedener Stärke mit schwach kapazitativer Koppelung (Koppelungskondensator C) auf die Antenne (Gitterseite) gegeben werden können. Die Gleichmäßigkeit der dadurch hervorgebrachten Geräusche ließ anfangs zu wünschen übrig. Eine befriedigende Konstanz ergab sich erst, nachdem der Kippschalter mit Platinkontakten versehen war. Die Stärke dieser Impulse wird nun solange mit dem Kurbelwiderstand abgeglichen, bis das durch Betätigung des Schalters hervorgerufene Geräusch im Hörer mit dem von der Störungsquelle herrührenden Geräusch an Lautstärke gleich ist. Als Maßzahl wird die jeweilige Ohmzahl der Kurbelstellung angegeben, die zugleich die EMK des Vergleichsgeräusches mißt. Null ist verschwindendes, 2000 das stärkste Geräusch. Die Apparatur war, um unerwünschte Koppelungen zu vermeiden, in einem mit Weißblech — das mit dem Minuspol des Empfängers verbunden war — ausgeschlagenen

Holzkasten untergebracht. Diese Schutzmaßnahme war ausreichend, wie aus der Tatsache hervorging, daß Schalterbetätigung bei der Kurbelstellung Null — wenn die Batterie also über den ganzen 2000 Ohm Widerstand geschlossen war — kein Geräusch hervorbrachte.

Diese Maßapparatur war neben dem Empfangsgerät montiert, so daß eine bequeme Bedienung der beiden Geräte möglich war.

III. Versuche.

a. 1) Störungsausbreitung senkrecht zur Linie.

In der Frage der seitlichen Wahrnehmbarkeit der Störungen wurden zunächst rein betriebsmäßige Untersuchungen am Tage angestellt, d. h. es wurden bahnseitig keine besonderen Vorkehrungen dazu getroffen, sondern die Versuche beschränkten sich darauf, die Netzstörungen zu beobachten und zu messen. Um etwa vorhandene Unterschiede in der Bandbreite einer Außenstrecke gegenüber einer im Stadtinnern gelegenen Linie mit zu erfassen, wurden diese Versuche, die ursprünglich im freien Gelände angestellt waren, in der Stadt wiederholt.

Die Versuche wurden im Herbst bei klarem Wetter gemacht und erstreckten sich auf mehrere Wochen. Auf einem senkrecht zur Linie verlaufenden Wege konnte der Empfangskarren in jeder gewünschten Entfernung von der Bahn aufgestellt werden. Die Antenne bildete mit der Linie einen Winkel von 35—40 Grad. Die im Lautsprecher hörbaren Störungen (bei späteren Versuchen wurde wegen bessere Vergleichsmöglichkeiten zum allerdings zuweilen recht unangenehmen Kopfhörerempfang übergegangen) wurden unterschieden in Knack- (Einzel-) geräusche und Brodelgeräusche. Die letzteren sind wohl mit den von F. Eppen [4]) beschriebenen „Raschelgeräuschen" nach Klang und Erscheinung zu vergleichen. Die Quelle speziell dieser Geräusche scheint mir allerdings nicht nur, wie F. Eppen für die Raschelgeräusche angibt, in mehr oder weniger geringen, durch Bewegung (wohl hauptsächlich Verkantung) des Schleifstückes am Fahrdraht verursachten Stromschwankungen zu liegen, sondern es scheinen in dem Fall zwischen Schiene und Rad vorkommende Stromunterbrechungen die Hauptschuldigen zu sein; Unterbrechungen, die durch Verschmutzungen der Schiene oder in Waldstrecken durch starken Blätterfall erfahrungsmäßig häufig verursacht werden.

Beobachtet wurden für jede Entfernung von 10 bis 90 m die beim Vorüberfahren eines Wagens auftretenden lautesten Geräusche, und zwar erstens die stetig vorhandenen Brodelgeräusche und zweitens die hervortretenden Knackgeräusche. Eine Zusammenfassung der verschiedenen Protokolle ergab die beiden dickgezeichneten Kurven der Abb. 2.

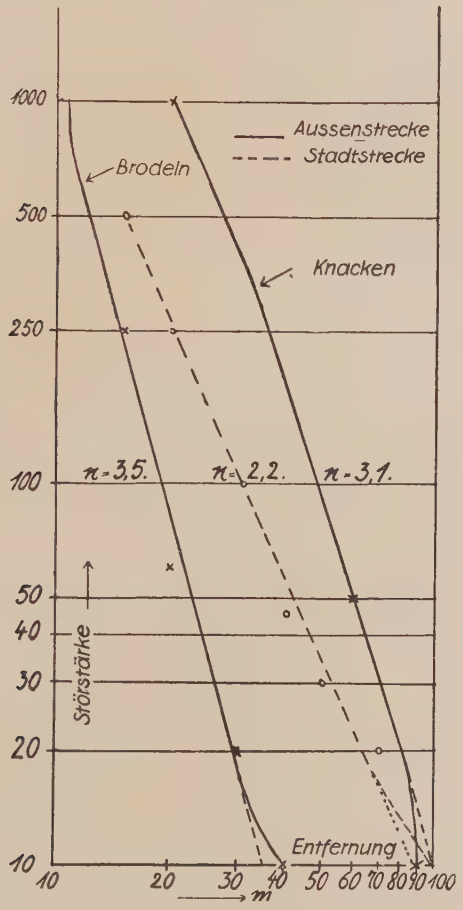

Abb. 2. Seitliche Ausbreitung der normalen Betriebsstörungen

Auf der Abzisse sind die Entfernungen von der Bahnlinie, auf der Ordinate die Störstärken aufgetragen; beides in logarithmischer Skala. Es zeigt sich, daß die Brodelgeräusche an Stärke bedeutend hinter den Knackgeräuschen zurückbleiben. Die Abnahme mit der seitlichen Entfernung ist bei

beiden Geräuschsorten gleich stark. Wenn man mit S die Störstärke, mit X die Entfernung des Empfängers von der Bahnlinie und mit X_{10} diejenige Entfernung bezeichnet, bei der die Störungen (wenn man logarithmisch linear extrapoliert) auf den Wert 10 abgesunken sind, ist innerhalb eines Bereiches von X = 15/20 bis 70 m annähernd

$$\ln S - \ln 10 = n\,(\ln x_{10} - \ln x).$$

$$S = 10\,\left(\frac{x_{10}}{x}\right)^n,$$

$$= \frac{\text{Const}}{x^n}$$

Die Konstante n ist im freien Gelände für Störungen verschiedener Art zu 3,1 bis 3,5 bestimmt; in der Stadt dagegen zu 2,2, wie die in Abb. 2 wiedergegebene gestrichelte Kurve zeigt. Die seitliche Intensitätsabnahme ist auf freiem Felde stärker als in dem im Stadtinnern beobachteten Falle. Es ist zu erwähnen, daß die Absolutlautstärke von Meßreihen, die nicht mit unveränderter Einstellung der Empfanganordnung vorgenommen wurden, nicht vergleichbar sind. Dies trifft z. B. für die gestrichelte und für die ungestrichelten Kurven Abb. 2 zu.

Außer den oben beschriebenen Untersuchungen wurde versucht, mit stehenden Motorwagen die betriebsmäßigen Störungen nachzuahmen, um dann an diesen künstlichen Störungen die seitliche Reichweite zu studieren. Die Untersuchungen fanden im Juli 1926 statt. Der Empfangskarren wurde senkrecht zum haltenden Straßenbahnwagen in die gewünschten Entfernungen gebracht. Die Verhältnisse wichen von denen auf freier Strecke in sofern ab, als der benutzte Leitungsstrang in etwa 250 m Entfernung blind endigte. Im Motorwagen war ein Lampenkreis eingeschaltet. Unterbrechungen dieses Stromkreises — Abheben und Anlegen des Bügels — verursachten im Empfänger Geräusche, die den betriebsmäßigen Knackgeräuschen glichen. Die Untersuchungen wurden nachmittags in der Zeit 4 Uhr 30 bis 6 Uhr durchgeführt. Der Empfang Hamburg war gut. Die Rahmenantenne stand zur Linie in einem Winkel von 35—40 Grad. Untersucht wurden Bügel mit Kohle- (Conradty-Nürnberg), Messing- (AEG-Radio-Sparbügel) und Eisenschleifstück (v. Fischer-Budapest). Die Bügel wurden nacheinander auf demselben Wagen angebracht.

Es ergaben sich für diese künstlichen Störgeräusche seitliche Ausbreitungsgesetze, die dem „Bandbreitengesetz"

der vorigen Versuche, die sich auf die Beobachtung der Betriebsstörungen stützten, ähneln. Die Resultate sind in der Abb. 3 in doppelt-logarithmischem Maßstabe wieder-

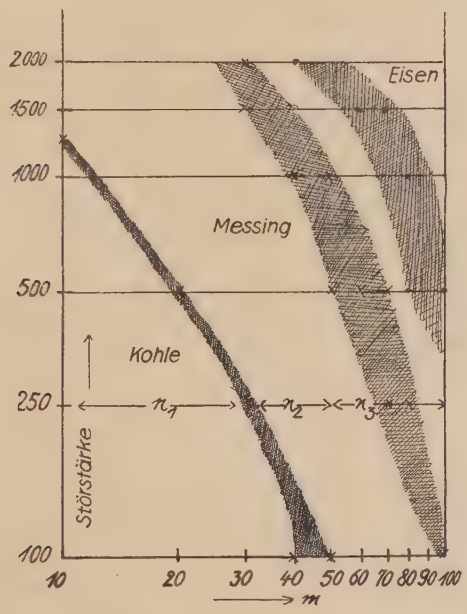

Abb. 3. Seitliche Störungsausbreitung bei verschiedenem Bügelmaterial

gegeben. Die 3 untersuchten Materialien zeigen in den Gebieten, wo man sie vergleichen kann, gleiche Ausbreitungsgesetze. Das gibt sich in den Kurven als einfache Höhenverschiebung wieder. Wenn wir aus der Zeichnung die Größe n der bei den vorigen Versuchen gefundene Beziehung

$$S = 10 \left(\frac{x_{10}}{x}\right)^n$$

bestimmen wollen, so müssen wir, da sie nicht über die ganze Breite von 100 m konstant ist, drei verschiedene Zonen schaffen. Diese fallen zusammen mit den Gebieten, wo Kohle und Messing, bezw. Messing und Eisen vergleichbar sind:

n_1 von 1 — 30 m = 1,5 ,
n_2 von 31 — 50 m = 2,2 ,
n_3 von 51 — 100 m = 2,8 — 3,1.

Die Störungslautstärke fällt also mit größer werdender Entfernung nicht gleichmäßig ab, sondern die entfernter liegenden Zonen zeigen einen rascheren Abfall als das

Gebiet in der Nähe der Bahnlinie. Ein Ergebnis, das mit dem Resultat der ersten Versuche, die ein konstantes n ergaben, nicht ganz in Einklang zu bringen ist. Es sind indessen, wie schon betont wurde, die Verhältnisse nicht ganz die gleichen. Während die ersten Versuche auf freier Strecke stattfanden, liegt hier ein offenes Leitungsende in der Nähe und außerdem läuft in einer Entfernung von ca. 250 m die Abzweiglinie zum Straßenbahnhof parallel zum Fahrweg des Empfängers. Es ist also mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß am Versuchsort die Abweichung des Verlaufs der Linie gleicher Lautstärke von den entsprechenden Linien einer geraden Strecke durch das zusätzliche Streufeld der Parallellinie zum Straßenbahnhof bewirkt wird. Festzustellen ist das Ergebnis: Wechsel des Bügelmaterials bringt keine Änderung in den Verlauf der seitlichen Intensitätsabnahme hinein.

Um den hier vorliegenden Fall — abgesehen von den angegebenen lokalen Zufälligkeiten — rechnerisch behandeln zu können, wird es genügen, wenn man einen ausgedehnten zylindrischen Leiter von geringem Querschnitt einer leitenden Ebene gegenüber annimmt (Abb. 4). Das elektrostatische

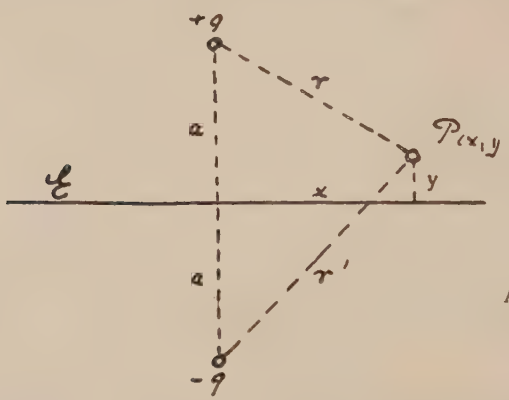

Abb. 4

Potential in der Umgebung eines zylindrischen Leiters ist bekanntlich

$$S = -2c^2 q \ln r,$$

wo c die Lichtgeschwindigkeit, q die elektrische Ladung der Längeneinheit des Leiters und r die Entfernung des Aufpunktes P von der Leitung bedeuten. Die Tatsache, daß die Ebene leitend ist, verlangt, daß das Potential auf ihr konstant ist. Man erfüllt diese Bedingung, indem man dem wirklichen Leiter mit der Ladung +q pro Längeneinheit auf der entgegengesetzten Seite der Ebene einen

gleichen Leiter mit der Ladung $-q$ pro Längeneinheit spiegelbildlich gegenübergestellt denkt. Ist r' der senkrechte Abstand diese letzteren Leiters von dem betrachteten Punkte P, so stellt sich dessen Potential dar als

$$S = -2c^2q \ln r + 2c^2q \ln r'.$$
$$= 2c^2q \ln \left(\frac{r'}{r}\right),$$

ein Wert, der wie verlangt zu Null wird, sobald P in die Ebene fällt, denn dann ist $r = r'$. Allgemein ist die Feldstärke in Richtung der Vertikalen

$$Ey = -\frac{dS}{dy} = 2c^2q \frac{d}{dy} \ln \left(\frac{r'}{r}\right),$$

Für die Ebene E wird $\frac{d}{dy} \ln \left(\frac{r'}{r}\right) = \frac{2a}{r^2}$ also

$$Ey = -\frac{4c^2q\,a}{r^2} = -\frac{4c^2q\,a}{x^2 + a^2}$$

Für die hier vorliegenden Größenverhältnisse

$$30 \gg X \gg 70/100; a = 5\,m$$

kann man annähernd Proportionalität der Feldstärke mit $\frac{1}{x^2}$ annehmen. — Dieses Ergebnis stimmt ungefähr mit dem experimentellen Befund überein, wenigstens was die Untersuchungen am stehenden Wagen und an der Stadtstrecke betrifft. Wodurch die schnellere seitliche Intensitätsabnahme im freien Gelände bewirkt wird, ist aus den bisherigen Ergebnissen nicht zu ersehen.

2. Störungsausbreitung längs der Linie.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen über die seitliche Ausbreitung der Störgeräusche, die teils als betriebsmäßige Beobachtungen, teils als Versuche mit einem stehenden Motorwagen geführt werden konnten, war es bei den Feststellungen der Störungsausbreitung längs der Linie nötig, Sonderfahrten mit einem Einzelwagen zu veranstalten, um mit Sicherheit diesen als Quelle der zu beobachtenden Störungen bezeichnen zu können. Dank des liebenswürdigen Entgegenkommens der Rostocker Straßenbahn A.-G. konnte diese Untersuchungsmethode durchgeführt werden. F. Eppen hat in Spandau Versuchsfahrten auch zu dem Zweck, die Störungsreichweite festzustellen, unternehmen lassen. Dort wurde in den Lichtstromkreis des Versuchswagens ein Unterbrecher eingebaut.

Beobachtet wurden an verschiedenen Punkten der Strecke zunächst die Störungen, die die Stromunterbrechungen zwischen Rolle und Fahrdraht während des Auslaufens des Wagens erzeugten und dann die bei haltendem Wagen vom Unterbrecher hervorgebrachten Störungen. Dabei wurden mit dem Unterbrecher stets Morsezeichen gegeben, sodaß es möglich war, diese Geräusche einwandfrei aus den übrigen Störungen herauszufinden. Obwohl nun die Kontakte des Unterbrechers aus Rollen — bezw. Fahrdrahtmaterial hergestellt waren, klangen die von ihm erzeugten Störungen „leiser und weicher, etwa so wie die kurz vor dem Anhalten des Wagens von der Rolle hervorgebrachten letzten Knacker." Um diese Unsicherheit nicht mit in die Beobachtungen eingehen zu lassen, wurde bei den hiesigen Versuchen von Unterbrechereinbauten abgesehen und statt dessen der Bügel des Wagens selbst abgezupft. Die Sonderfahrten wurden entweder nachts vorgenommen, wenn der Betrieb eingestellt war, oder es wurde der letzte fahrplanmäßige Wagen beobachtet. Auch ein weiterer später näher zu beschreibender Umstand — die auf der Strecke befindlichen Wagen beeinflussen in erheblichem Maße die von den anderen fahrenden Wagen herrührenden Störungen in ihrer Ausbreitung — sprach dafür, diese Versuche in die Zeit der Betriebsruhe zu legen.

Eine erste Versuchsreihe wurde im Juni 1926 durchgemessen. Die Lage der befahrenen Strecke und der Standort des Empfängerkarrens sind aus der Abb. 5 zu ersehen. Der Versuchswagen wurde nacheinander mit Kohle-, Messing- und Zinkbügel ausgerüstet. Die zu beobachtenden Störungen wurden vom Fahrer durch Anlegen und Abheben des Bügels bei haltendem Wagen — Öffnen und Schließen des von 0,46 Amp. durchflossenen Lichtstromkreises — hervorgebracht. Der Fahrer war angewiesen, an den Haltestellen A (/), B (650 m), C (1200 m) und D (2000 m) zu stören. Die Geräusche wurden in senkrechten Entfernungen von 25,50 und 100 m beobachtet. Das Ergebnis war für alle drei Materialien das gleiche. Es konnte innerhalb dieser Fahrstrecke (2000 m) eine mit Sicherheit wahrnehmbare Dämpfung der Störungen nicht festgestellt werden.

Dieses Resultat ist in Abb. 5 durch Linien dargestellt, welche die Punkte gleicher Störungslautstärke miteinander verbinden. In diesem Fall der Dämpfungsfreiheit laufen die Linien parallel der Strecke; rechts soll in dem Verlauf hinter dem ersten Speisepunkt, der eine Dämpfungsstelle darstellt, angedeutet werden, wie sich die Linie in einem

solchen Falle verhalten. Diese Art der Darstellung war möglich unter der Annahme, daß es gestattet ist, z. B. die Stellen A und B zu vertauschen, d. h. es soll gleichgültig sein, ob sich der Störwagen in B befindet und der Beobachter in A abhört oder ob der Motorwegen in A steht, und der Beobachter sich in B befindet. Diese Verhältnisse entsprechen insofern nicht ganz der Wirklichkeit, als spezifische Bodenverschiedenheiten, die zu lokal ver-

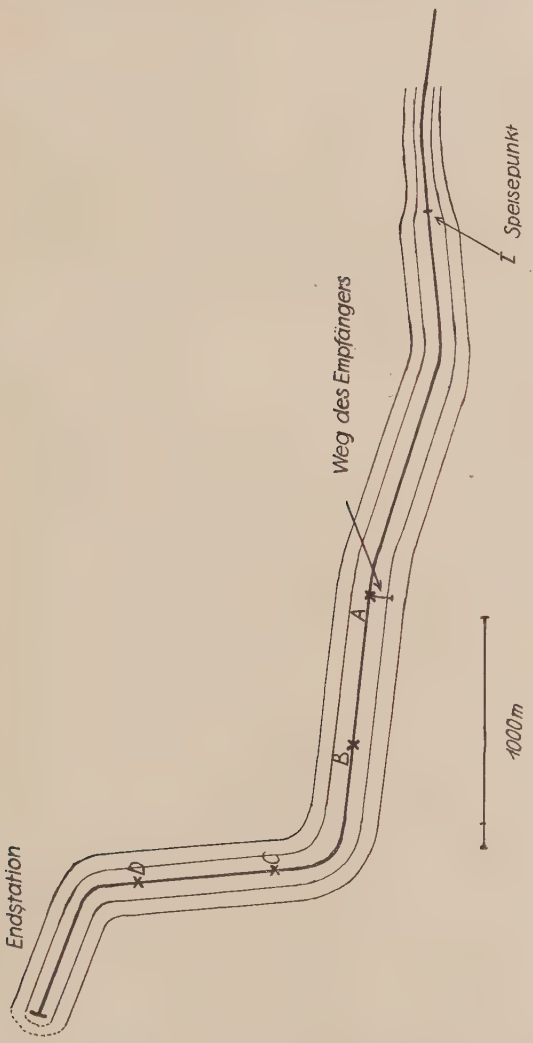

Abb. 5. Ausbreitung der Störungen längs der Bahnlinie

schiedenen seitlichen Abklingungsgesetzen der Störungen führen würden, dabei natürlich nicht berücksichtigt werden können; nimmt man jedoch das seitliche Abklingungsgesetz als überall gleich an, so ist die obige Annahme der Reziprozität recht gut vertretbar. Denn man kann ohne Frage bei unendlich langer Leitung völlige Aequivalenz von A und B annehmen; ferner lehrt jedoch die Anschauung, daß bei Reflexionen der Gangunterschied zwischen der von B nach rechts ausgehenden direkten Welle und der links am Endpunkte reflektierten Welle für den in A befindlichen Beobachter dem Gangunterschied gleich ist, der zwischen der von A in Richtung B, wo sich jetzt der Beobachter befinden möge, laufenden direkten und der am Leitungsende reflektierten Welle besteht. Da dies entsprechend sowohl für alle Reflektionspunkte wie auch für stetige Änderungen, die man sich in eine Reihe von Einzelreflektionen zerlegt denken kann, gelten muß, ist unsere Annahme wohl vertretbar, und unser Linienbild entspricht mit Annäherung dem tatsächlichen Störungsverlauf, wenn sich der Störer in A befindet.

Die Störungen treten im Leitungsnetz und in seiner Umgebung unabhängig vom Standort des störenden Wagens, rein als „Leitungsstörungen" auf. Die Zonen gleicher Störungslautstärke laufen parallel der Bahnlinie; sie sind in Form und Breite, wenn man gleiches Bügelmaterial voraussetzt, nur durch Eigenschaften der Ober- und Erdrückleitung bestimmt. Im Besonderen überlagern sich den „Leitungsstörungen" auch in der Nähe des störenden Wagens keine zusätzlichen Störwellen.

3. Störungsausbreitung.
Einfluß von Speisepunkten.

Neben der bei den ersten Versuchen gewonnenen Erkenntnis, daß die Störungsbandbreite in der Stadt größer ist als im freien Gelände, wiesen andere Beobachtungen darauf hin, daß auch in der Frage der Störungsreichweite längs der Bahnlinie im Stadtinneren andere Verhältnisse bestehen müßten.

Die Gründe dafür können verschiedener Art sein: es liegt nahe, sie in Eigentümlichkeiten der Oberleitung in der Stadt zu suchen. Solche liegen vor

1.) in den Abspannungen des Fahrdrahtes,
2.) in den Verzweigungen und
3.) in den Speisepunkten.

Die in der Stadt etwas veränderten Abspannungen geben

nach H. Rüdenberg [5]) wohl nur zu schwachen Reflexionen Anlaß. Für Verzweigungen gibt derselbe Verfasser eine Verringerung der Spannungshöhe der einfallenden Welle auf ca. 60% des ursprünglichen Betrages an.

Über die Wirkungsweise eines Speisepunktes, die nach der Wanderwellentheorie nicht so ganz leicht zu übersehen sein dürfte, wurden mehrere Versuche angestellt. Zunächst wurde im Rahmen der Versuche zur Bestimmung der Störungsreichweite längs der Bahnlinie die Beobachtung gemacht, daß hinter dem ersten Speisepunkt die Netzstörungen sehr an Härte abnahmen, und die Signale, die vom Versuchswagen durch Bügelzupfen gegeben wurden, verschwanden. Der Einfluß dieses Speisepunktes auf die Störwellenfortpflanzung wurde dann durch einen weiteren Versuch, bei dem der Empfangskarren in Sichtweite des Speisepunktes aufgestellt war, dahin geklärt, daß, wenn auch keine vollständige Reflexion der Störwellen an diesem Punkte erfolgt, doch eine erhebliche Intensitätsabnahme der Netzstörungen, mindestens im Verhältnis 1 ; 3 zu bemerken ist. Dieser Speisepunkt ist einseitig geschaltet (Abb. 6), er speist die Leitung nur in einer Richtung. An dieser Stelle ist die Oberleitung auf 30 cm durch einen dazwischen montierten Isolator unterbrochen. Der zweite im Netz der Rostocker Straßenbahn vorhandene Speisepunkt ist zweiseitig geschaltet (Abb. 6); auch hier ist, um unter Umständen die eine Seite der Leitung stromlos machen zu können, der Fahrdraht auf 30 cm durch einen Isolator ersetzt. Es wurde ein Versuch angesetzt, um festzustellen, ob sich die beiden Speisepunkte in ihrer Wirkung auf die Fortpflanzung der Störungswellen unterscheiden. Der Empfangskarren wurde auf der Hälfte der zwischen den beiden Punkten liegenden Strecke (ca. 1000 m) in 25 m Abstand von der Linie stationiert. Die zu beobachtenden Störungen wurden wie bei den anderen schon beschriebenen Versuchen durch Zupfen des Bügels hervorgebracht. Die Störungen vom Punkte A (Abb. 7) wurden mit der Stärke 250 aufgenommen, von B mit 500 bis 1000 und von C mit annähernd 500. Der beidseitig geschaltete Speisepunkt II zeigt keine so gute Dämpfungswirkung wie der einseitig geschaltete I. Die Verschiedenheit in der Wirkung beruht

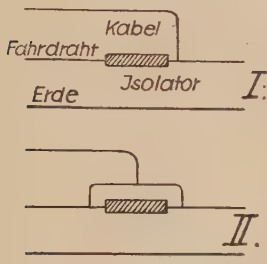

Abb. 6. Schaltbilder der Speisepunkte I und II

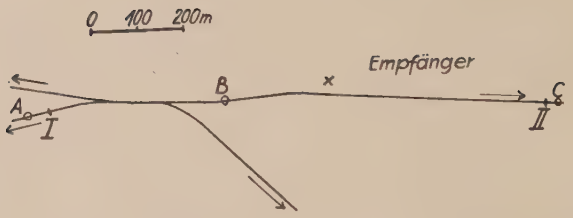

Abb. 7. Einfluß der Speisepunkte (Lagenskizze).

wahrscheinlich auf den Unterschieden der bei I sehr kleinen Kapazität zwischen dem offenen Leitungsende und dem rechtwinkligen Stück Oberleitung-Kabel gegen den bei II bestehenden Kurzschluß durch die beiden Kabelzuleitungen. Außerdem ist allerdings der Dämpfungseinfluß der beiden zwischen I und dem Empfänger liegenden Verzweigungen mit zu berücksichtigen. Er konnte trotz angestellter Untersuchungen nicht klar festgestellt werden.

4. Störungsausbreitung.

Reduktion der Störungen durch andere Wagen.

Die bisher beschriebenen Untersuchungen hatten den Zweck, über die Ausbreitung der Störwellen entlang der Bahnlinie Klarheit zu schaffen. Sie haben sich dabei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf den Fall beschränkt, daß nur ein Wagen auf der Strecke war. Es ist zu erwarten, daß auf einer Strecke, die von mehreren Wagen befahren wird, die Fortpflanzungsverhältnisse andere sind Hierzu mag folgendes Ergebnis mitgeteilt werden.

Bei Gelegenheit von Beobachtungen in der Nähe des Fahrdrahtes — die 1 □ m Rahmenantenne war mit der Spitze nur 20—30 cm von der Oberleitung entfernt — wurde eine starke Dämpfung der Netzstörgeräusche festgestellt, wenn die von der Stadt kommende Strecke (die Versuche wurden im Straßenbahnhof, also am Leitungsende, ausgeführt) durch ein oder zwei Motorwagen blockiert war, welche übrigens stromlos waren, also nur eine kapazitative Überbrückung der Linie bildeten. Lag bei offener Strecke (abgehobener Bügel des Blockierungswagens) die Intensität der Empfangszeichen (Rundfunk Hamburg) weit unter dem Störspiegel, so konnte bei Anlegen des Bügels Hamburg verständlich empfangen werden, und bei zwei vorgelegten Wagen waren die Störungen fast verschwunden. Sie sanken von Stärke 1500 bei freier Strecke auf ungefähr 250 bei einem vorgelegten Wagen, um bei zwei Wagen unter die Störgrenze (also unter 100) zu sinken.

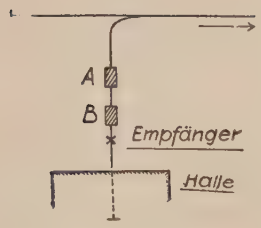

Abb. 8. Abschirmwirkung der einzelnen Motorwagen

Es wurde nun versucht, die Größe der Dämpfung durch Zupfversuche zu bestimmen, (Abb. 8), d. h. es wurden zunächst die vom stehenden Wagen A bei Bügelabheben und Anlegen im Empfänger hervorgebrachten Geräusche beobachtet; dann wurde der Wagen B zwischen A (Störquelle) und Empfänger gelegt. Das Ergebnis war folgendes:

a.) ohne Blockierungswagen

Strom	Störstärke	Netzstörungen
0,23 Amp.	1000	ungef. 1500
0,46 „	1500	

b.) mit 1 Blockierungswagen

0,23 Amp.	1000—500	ungef. 250
0,46 „	1000	

Die Dämpfung dieser Signale ist also nicht so stark wie die der Netzstörungen,

b.) Intensität der Störungen.

Während für die Ausbreitungsvorgänge die Bahnstrecke mit den laufenden Motorwagen bestimmend war, hängt bei gegebenem Ausbreitungsgesetz die Amplitude der auftretenden gedämpften Schwingungen, also die Intensität der einzelnen Störgeräusche, noch wesentlich von dem Material des Stromabnehmers ab. Es muß allerdings der Öffnungsgeschwindigkeit auch ein gewisser Einfluß zuerkannt werden. Bei den hiesigen Zupfversuchen, wo die Unterbrechungen von Hand erfolgten, konnte — wohl infolge der für diese Zwecke zu kleinen Geschwindigkeit — allerdings ein solcher nicht festgestellt werden. Doch berichtet F. Eppen in seiner ersten Veröffentlichung [2]) von Beobachtungen, die einen anderen Schluß gestatten. Während wir diese Frage nicht zu klären vermochten, können wir über den Einfluß des Schleifstückmaterials auf die Störungslautstärke in Abhängigkeit von der Stärke des unterbrochenen Stromes eine Reihe von Ergebnissen vorlegen.

1. Materialeinfluß.

Die Untersuchungen wurden teils in Rostock mit Straßenbahnwagen, teils in Berlin mit elektrischen Lokomotiven der Siemens-Schuckert-Güterbahn durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war die Feststellung desjenigen Materials,

daß vom Standpunkt größtmöglichster Rundfunkstörbefreiung für die Konstruktion des Schleifstückes in Frage kommt. Als Fahrdraht lag stets Kupfer vor; die Polung war, wie erwähnt: Fahrdraht positiv, Erde negativ. Da die beim fahrenden Wagen auftretenden Stromunterbrechungen, die die Störwellen hervorrufen, bei verschiedenen Stromstärken erfolgen, mußte eine Vorrichtung getroffen werden, die auch beim stehenden Wagen eine Veränderung der Stromstärke gestattet. In Rostock wurden zu diesem Zweck möglichst induktionsfreie regulierbare Widerstände in den Lampenkreis eingebaut; diese zusammen mit dem Heizkreis erlaubten, den zu unterbrechenden Strom von 0,1—2,0 Amp. zu verändern.

Die Versuchsmaterialien – in Rostock: Kohle, Messing, Zink, Aluminium, Eisen, natürl. und künsl. Bleiglanz, Wismutsulfit und ein Gemisch von Bi_2S_3 + PbS (künstl.) — wurden, soweit es sich nicht wie bei Kohlen (Conradty-Nürnberg), Messing (AEG, Radio-Sparbügel, System Mollenkopf), Zink (AEG, Mollenkopf), Eisen (v. Fischer-Budapest) und Aluminium um fertig vorliegende Schleifstücke handelte, auf dem Kohleschleifstück so montiert, daß ein sicherer und ausschließlicher Kontakt des jeweils zu untersuchenden Materials mit dem Fahrdraht gewährleistet war. Wismutsulfid natürl. und künstl. Bleiglanz und das Gemisch aus Bi_2S_3 + PbS (künstl.) waren für diese Versuchszwecke von Gebr. Siemens & Co., Bln.-Lichtenberg, in Form von kleinen Zylindern gütigst zur Verfügung gestellt.

Der Empfänger befand sich senkrecht vom Wagen in einer Entfernung von 20 m. Dort wurden die beim Abheben und Anlegen des Stromabnehmers (Öffnen des jeweils fließenden Licht — bezw. Heizstromes) entstehenden Störgeräusche abgehört und mit der eingangs beschriebenen Zusatzapparatur verglichen und gemessen.

Die Resultate sind in Tab. I und Abb. 9 zusammengestellt. In den Skizzen bedeutet 1 cm Zuwachs jeweils $6^1/_2$ fache Amplitude (40 fache Intensität). Um eine bessere Übersicht zu ermöglichen, ist in den Kurven für die Störamplitude 250, die unter unseren Bedingungen ungefähr als kritischer Schwellenwert der Störung (für Empfang Hamburg) auftritt, nochmals eine Gerade gezogen.

Es stellte sich heraus, daß sowohl bei **Kohle** wie auch beim natürl. und künstl. **Bleiglanz** und beim **Wismutsulfid** die Lautstärke der Störungen des Öffnens bei den in Frage kommenden Lichtstromstärken (in Rostock 3 Lampenkreise = 0,7 Amp.) schon unterhalb der Grenze der

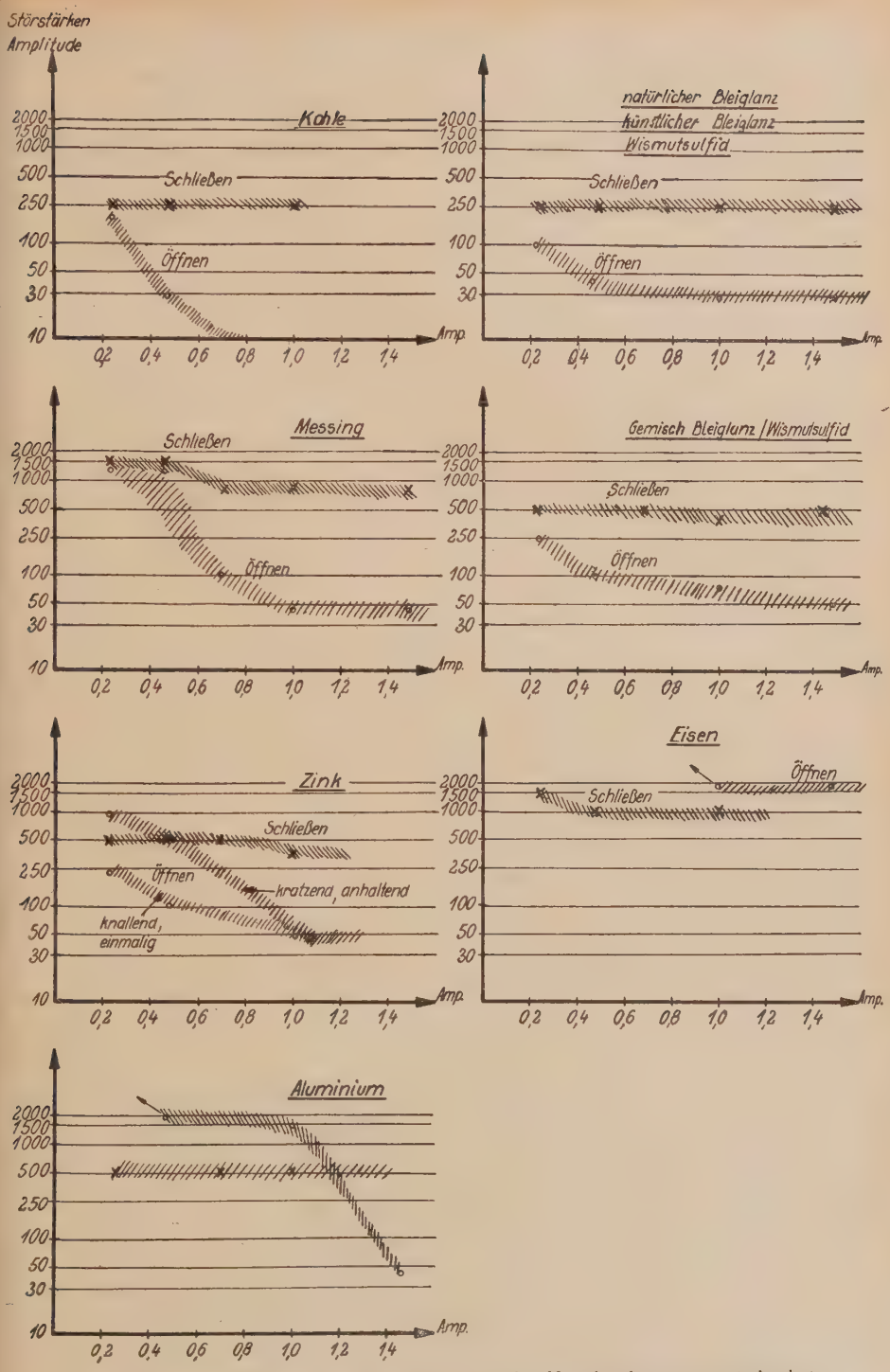

Abb. 9. Abhängigkeit der Geräuschstärke von der Unterbrechungsstromstärke bei verschiedenen Materialien

den Empfang beeinträchtigenden Geräusche liegt. Die Lautstärke des Schließens (Bügelanschlagen) liegt zwar bei diesen Materialien höher als die der Öffnungsgeräusche, braucht aber wegen ihrer „Einmaligkeit" (man hört nur ein kurzes, leicht knallendes, nicht sonderlich unangenehmes Geräusch) nicht sehr in Betracht gezogen zu werden.

Beim **Messing** und bei dem **Gemisch** aus Bi_2S_3 + PbS ist das Verhältnis zwischen Öffnungs- und Schließungsgeräusch ungefähr ebenso; jedoch ist man bei 0,7 Amp. beim Öffnen noch im Bereich der den Empfang beeinträchtigenden Geräusche, die beim Messing zuweilen noch sehr stark kratzend sind, im Gegensatz zu den leicht schurrenden oder zischenden Geräuschen der anderen Materialien. Für das Schließungsgeräusch gilt das über Kohle gesagte auch hier.

Zink liegt in Bezug auf das Öffnungsgeräusch zwischen Kohle und Messing; bei 0,7 Amp. wird es nicht mehr störend wirken, doch zeigen sich gerade bei diesem Metall auch bei diesen verhälnismäßig hohen Stromwerten noch häßlich störende, weil länger dauernde Kratzgeräusche. Das Schließungsgeräusch stört nicht erheblich.

Aluminium und **Eisen** fallen aus dieser Reihe sehr heraus. Bei diesen Modellen liegt die Stärke des Öffnungsgeräusches beträchtlich über der des Schließungsgeräusches und sinkt — wenigstens beim Eisen — innerhalb der in Betracht kommenden Licht- und Heizstromstärke noch nicht unter die Grenze der für den Empfang noch tragbaren Störgeräusche. Das Schließungsgeräusch liegt mit der Stufe 500 bei Aluminium und sogar 1000—1500 beim Eisen zwar noch im Lautbereich starker Störungen, verschwindet aber im Gesamtbild der Beobachtungen aus den oben angeführten Gründen (Einmaligkeit) gegenüber dem sowohl lauteren als auch dem ganzen Charakter nach bedeutend unangenehmeren Öffnungsgeräusch. — Das Metall **Beryllium,** das später untersucht wurde, ergab ebenfalls eine hohe Störungslautstärke. Genauere Vergleichsdaten können in dem Fall nicht gegeben werden.

In Berlin wurden folgende Materialien untersucht: Kohle, Kupfer, Zink (handelsüblich), Aluminium, Lagermetall (Aepernametall, zinkfreie Cu-Legierung) und drei Spezialmaterialien „1" (FeS + 1/20 ZnO), „3" (FeS + 1/10 ZnS) und „8" (FeS + 1/5 ZnO). Diese 3 Modelle wurden für diese Versuchszwecke in entgegenkommender Weise von der Firma Gebr. Siemens & Co., Bln.-Lichtenberg, angefertigt und zur Verfügung gestellt. Die Berliner Versuche umfassen ein weiteres Stromstärkenintervall, doch

ist bei ihnen — sie liegen zeitlich vor den letzterwähnten Rostockern — die Wirkung des Öffnungs- und Schließungsgeräusches noch nicht getrennt. Bei den in Abb. 10 angegebenen Zahlen ist zu berücksichtigen, daß sie, da der Empfänger ein anderer war, nicht zum Vergleich mit den in Rostock gewonnenen Angaben herangezogen werden können. Wohl aber ist die Reihenfolge der Materialien vergleichsfähig. Die Empfangsanordnung bestand aus einem 4-Röhren-Neutrodyngerät mit Rahmenantenne. Sie war von der Rundfunkgruppe (Obering. Clausing) des Z.-L. der Siemens und Halske A.-G., Berlin, für diese Versuche freundlichst überlassen worden. Es wurde mit Kopfhörer empfangen.

Die zur Verfügung gestellte elektrische Lokomotive der Güterbahn Siemenstadt — die Versuche wurden mit gütiger Unterstützung der Abteilung Bahnen der Siemens-Schuckert-Werke durchgeführt — war mit zwei Bügeln versehen. Auf dem hinteren Bügel (Type Dresden) war ein Schleifstück aus Lagermetall montiert, während auf dem vorderen (Type Halle) die verschiedenen zu untersuchenden Materialien ausgewechselt wurden. Durch Abheben des Bügels von der Oberleitung wurden nun bei stehender Maschine Unterbrechungen des eingeschalteten Heizstromkreises, in den regulierbare Widerstände eingebaut waren, hervorgebracht. Die Widerstände ermöglichten ein Verändern der Stromstärke von 0,2—2,5 Amp. Beobachter befand sich mit dem Empfänger 28—30 m senkrecht von der Bahnlinie entfernt im freien Gelände und verglich die Störgeräusche der Lokomotive mit denen der Zusatzapparatur. Als Kontrolle wurde ungefähr bei jedem zweiten Untersuchungsmetall ein Parallelversuch mit dem Lagermetall gemacht, wobei sich eine befriedigende Konstanz der Spannungsamplituden dieses Vergleichsmaterials ergab. Die Abstimmung des Gerätes entsprach ungefähr einer 380 m Welle. Die Ergebnisse sind tabellarisch (Tab. II) und zeichnerisch (Abb. 10 a und b) dargestellt. Sind auf einem Stromwert zwei Geräuschstärken bzw. ist die gleiche Geräuschstärke bei zwei Stromwerten eingetragen, so bedeutet das Werte, die zwischen den beiden beobachteten Punkten schwankten. Durch verschieden starke Schattierung wird die Häufigkeit des betreffenden Wertes angedeutet.

Zu den Ergebnissen der Versuche ist folgendes zu sagen;

Kohle und **Zink** fallen aus der Reihe der übrigen Materialien heraus. Mit ihnen als Bügelbaustoff ausgerüstete Wagen müssen nach diesem Ergebnis, wenigstens was die Unterbrechungen am Fahrdraht betrifft, ein Minium an

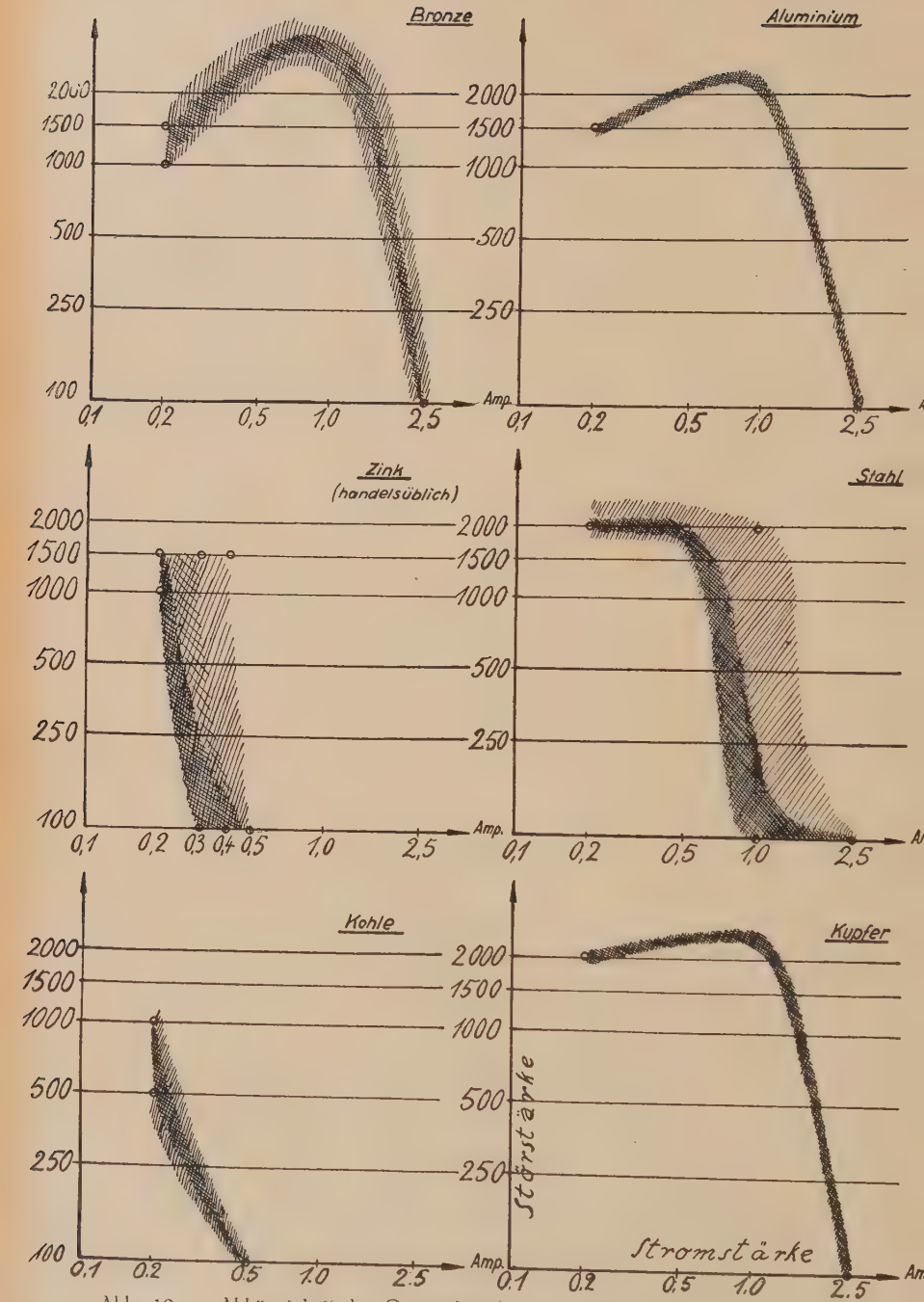

Abb. 10 a. Abhängigkeit der Geräuschstärke von der Unterbrechungsstromstärke bei verschiedenen Materialien.

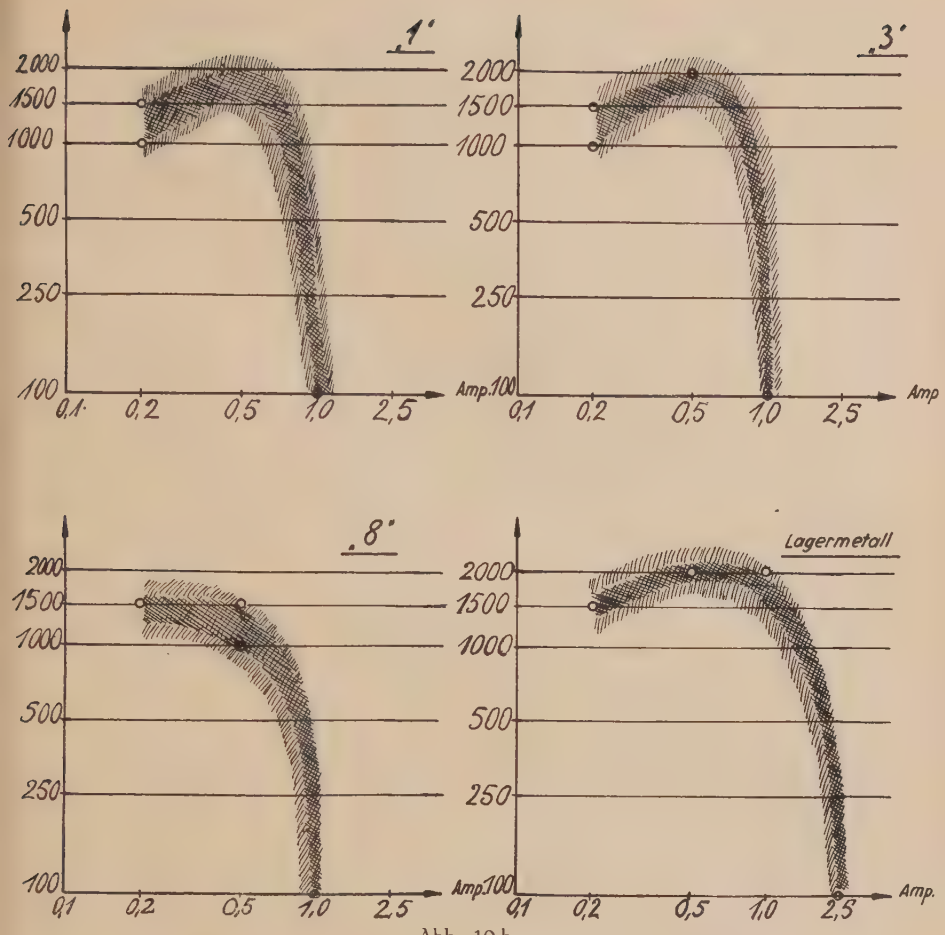

Abb. 10 b.

Störungen hervorbringen. Dabei ist dem Kohlebügel in sofern der Vorzug zu geben, als die von ihm bei Stromstärken von 0,3—0,5 Amp. erzeugten Störungen alle unter 250 — dem kritischen Wert der Störungslautstärke — liegen, während beim Zinkbügel noch ein beträchtlicher Teil der Unterbrechungen bei diesen Stromstärken Störungen von der Stärke 1500 verursachte.

Die Lautstärke beim **Stahl** liegt bei einem Unterbrechungsstrom bis über 1,0 Amp. weit über dem 250-Wert.

Fast gleiche Ergebnisse liefern die **drei Gemische:** FeS + 1/20 ZnO, FeS + 1/10 ZnS und FeS + 1/5 ZnO. Sie zeigen mit von 0,2—0,5 Amp. wachsendem Strom eine langsam größer werdende Störungslautstärke, um dann schneller auf die Störstärke 100 bei 1 Amp. abzusinken. Bei 0,7 Amp. stören sie ungefähr mit der Stärke 1000.

Einen ähnlichen, nur noch etwas ungünstigeren Verlauf nehmen die Kurven beim **Kupfer, Aluminium, Bronze** und **Lagermetall.** Die Störungslautstärke wächst mit dem Strom (0,2—1,0 Amp.) auf über 2000 und erreicht erst bei Stromstärke 2,5 Amp. den Wert 100. Bei diesen Materialien ist die Lautstärke der Störungen also im Gebiet des Beleuchtungsstromes von 0,7—1,0 Amp. noch im Steigen begriffen.

2. Einfluß von Kondensatoren.

Die Untersuchungen über den Einfluß des Bügelmaterials hatten das Ziel, durch zweckmäßige Einrichtung des Unterbrechers (Wahl des günstigsten Schleifstückmaterials) das Zustandekommen von Störschwingungen in dem System Oberleitung/Wagen gegen Erde zu verhindern oder doch wenigstens ihre Amplitude auf möglichst niedrige Werte zu beschränken. Davon unabhängig gibt es noch einen anderen Weg, Störungen des Rundfunks durch die Straßenbahn oder durch elektrische Motore zu reduzieren. Man kann versuchen, durch geeignete Schaltelemente im Wagen den Unterbrechungsvorgang so zu beeinflussen, daß die plötzliche Stauung oder Abführung von Ladungen auf dem Fahrdraht, die wir nach den oben festgestellten Ausbreitungsgesetzen als die eigentliche Ursache der Störungen anzusehen haben, in ihrer Intensität oder wenigstens in ihrem zeitlichen Verlauf günstig beeinflußt wird. Eine bekannte Maßnahme in diesem Sinne ist die Kondensatorüberbrückung der im Wagen geführten Leitungen.

Es sind hier Versuche in dieser Richtung angestellt worden, und zwar wurden Kondensatoren von 1 bis 6 MF parallel zum Motor gelegt. Verwandt wurden Kondensatoren von Siemens & Halske mit 2000 Volt Prüfspannung. Die Ergebnisse blieben hinter den Erwartungen zurück. Festgestellt wurde ein gewisser Einfluß auf die Ableggeräusche, während die Anleggeräusche weder eine Änderung in der Stärke noch im Klangcharakter erfuhren. Der Kondensator — es wurde bei den Werten von 1 –6 MF kein merklicher Unterschied in der Wirkung gefunden — veränderte neben der Verminderung der Lautstärke der Ableggeräusche stark den Geräuschcharakter der Störung. Aus dem verhältnismäßig scharf abgegrenzten, knallenden Geräusch — leise bei Kohle, lauter bei Messing und Aluminium — wird ein am Anfang und Ende verwischtes Scharren, das für das Ohr immerhin bedeutend angenehmer klingt, aber gerade deshalb in der Intensität schwerer zu bewerten ist. Einen ungefähren Anhalt mag die Angabe geben, daß die Laut-

stärke durch die Parallelkapazität auf ungefähr $^1/_3$ des ursprünglichen Wertes herabgedrückt wird. Für kleinere als die im Betriebe üblichen Stromstärken, z. B. 0,05—0,15 Amp., war die günstige Wirkung des Parallelkondensators auffallender. Bei diesen Strömen waren die Störgeräusche bei der normalen Schaltung lauter als bei den Lichtströmen. Der hinzugeschaltete Kondensator drückte — gleichfalls unter Veränderung des Klangcharakters — ihre Intensität bis auf dieselben Werte der stärkeren Unterbrechungsströme. Während in dem Falle eine Verminderung der Lautstärke auf $^1/_3$ konstatiert wurde, war hier eine solche auf $^1/_5$—$^1/_6$ zu bemerken.

Bei den hiesigen Versuchen konnte ein Optimum der Kondensatorgröße nicht festgestellt werden. Versuche des Zentrallaboratoriums der Siemens & Halske A. G., die in Bln.-Siemenstadt von Herrn Oberingenieur Clausing angestellt wurden, stellten einen Gang der Störbefreiung mit dem Wachsen der Kondensatorgröße fest. W. Schad nimmt dagegen auf Grund eigener Versuche an [6]), daß immer ein günstigster Wert für die angelegte Kondensatorbatterie besteht. Er nennt für kleine Motore Werte von 2 MF, für größere solche von 6 MF. Die Werte sollen also mit der Motorengröße, d. h. mit der Induktivität der Ankerwicklung wachsen. W. Schad gibt als mutmaßlichen Grund für die störbefreiende Wirkung der Kondensatorbatterie an: Kurzschließung der evtl. entstehenden Hochfrequenzschwingungen oder Verlagerung der Eigenfrequenz des schwingenden Kreises in nicht mehr störende Gebiete.

3. Zur Theorie der Kondensatorwirkung.

Wir versuchen im folgenden noch einen theorethischen Beitrag zu der Kondensatorfrage zu geben, indem wir für die Straßenbahn die Wirkung der im Wagen auftretenden Schwingungen auf Grund unserer Ausbreitungsbefunde vernachlässigen und nur die am Fahrdraht selbst auftretenden Spannungen unter Annäherungsannahmen zu berechnen suchen.

Indem wir zunächst nur den Vorgang vor dem Eintreffen der etwaigen Reflexionswellen untersuchen, nehmen wir die Leitung nach beiden Seiten als unendlich lang an. Ferner soll die Unterbrechungszeit zunächst unendlich klein sein. Der vorliegende Fall ist dann der des plötzlichen Öffnens einer unendlich langen Leitung, vgl. H. Rüdenberg [5]). Die Überspannung entsteht durch die Stauung des zur Schaltstelle fließenden Stromes, der wegen des Wellenwiderstandes Z der Leitung nicht augenblicklich

abfließen kann. Man stellt diesen Fall dar, indem man sich von der Schaltstelle nach links und rechts in die Leitung hinein Ströme i_r (nach links) und i_v (nach rechts) geschickt denkt, die es zu berechnen gilt. Diese Ströme erzeugen wegen des Wellenwiderstandes Z eine nach links und rechts fortschreitende Überspannung auf der Leitung:

$$\triangle v_r = - Z i_r : \triangle v_v = Z i_v .$$

Hierbei ist $\triangle v = \triangle v_r = \triangle v_v$, also $i_r = - i_v$.

Aus der Bedingung, daß durch den Schaltpunkt kein Strom mehr abfließen kann, folgt:

$$J_o + i_r = i_v$$

somit: $$i_v = - i_r = \frac{J_o}{2} .$$

$$\triangle v = J_o . \frac{Z}{2} .$$

Das bedeutet bei der Größe des Wellenwiderstandes Z (etwa 500 Ohm bei den normalen Fahrdrähten) schon bei kleinen Fahrströmen einen recht hohen Spannungssprung.

Die allgemeine Rechnung, der wir uns nunmehr zuwenden, zeigt, daß dieser Spannungssprung bei unendlich langer Leitung in derselben Höhe nach vollständigem Ablauf des Unterbrechungsvorganges immer auftritt; nur die Steilheit des Spannungsanstieges wird durch die Dauer des Unterbrechungsvorganges und die Schaltelemente des Schließungskreises beeinflußt. Dieser zeitliche Verlauf kann aber auf die im Radioempfänger wahrgenommene Störung in doppelter Weise einen maßgebenden Einfluß haben. Ist der Unterbrechungsvorgang lang gegen die Laufzeiten der Wellen von der Schaltstelle bis zu den nächsten Reflexionspunkten der Leitung (andere Wagen, Speisepunkte, Verzweigungen), so machen sich schon während des Unterbrechungsvorganges die reflektierten Wellen geltend und verhindern einen weiteren erheblichen Spannungsanstieg. Und sind die reflektierten Wellen noch nicht im Spiel (was aber z. B. bei der Unterbrechung mit Lichtbogenbildung immer anzunehmen sein wird), so wirkt doch auf den Empfangskreis eines abgestimmten Apparates bekanntlich nur diejenige (maximale) Spannungsänderung, die sich etwa innerhalb des 2π-ten Teils einer Eigenschwingung abspielt, so daß eine Verlangsamung des Anstieges über diese Zeit hinaus eine entsprechende Herabminderung der Störung bedeutet.

Aus diesen beiden Gründen ist es von Interesse den Spannungsanstieg bei endlicher Unterbrechungszeit und bei

verschiedener Schaltung im Wagen zu berechnen. Es möge dabei genügen, die Grenzfälle unendlich großer und verschwindender Parallelkapazität zu behandeln.

a.) große Parallelkapazität.

Wir können, entsprechend dem bei unendlich kurzer Unterbrechung gefundenen Resultat, die Betrachtung dadurch vereinfachen, daß wir die beiden Seiten des Fahrdrahtes als parallel geschaltete Widerstände vom Gesamtwert Z/2 annehmen; Reflexionsvorgänge werden dabei natürlich wieder ignoriert. Das Schaltschema für die Berechnung der Zusatzströme und -Spannungen ist dann das durch Abb. 11 dargestellte. W_n bedeutet den Nutzwiderstand (Motorwiderstand + Regulierwiderstand. 5-100 Ohm, oder Lampenwiderstand, ca. 800 Ohm), wü ist der während der Unterbrechungszeit bis unendlich ansteigende Uebergangswiderstand am Stromabnehmer, v_s die am Schaltpunkt auftretende Spannungsänderung, die hier wegen der Annahme einer unendlich großen Parallelkapazität C zugleich mit der Spannungsänderung Fahrdraht/Erde identisch ist. Wenn I_o, v_{so} und $w_{üo}$ die bezüglichen Werte des Stromes, der Spannung Fahrdraht/Bügel und des Übergangswiderstandes vor der Schalthandlung bezeichnen, so ist:

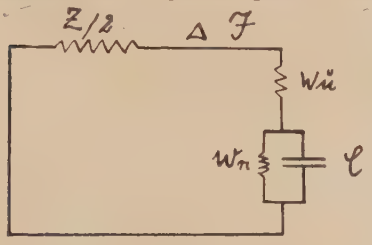

Abb. 11

$$v_s = v_{so} + \Delta v,$$

$$J = J_o + \Delta J,$$

$$J_o = \frac{v_{so}}{w_{üo}}$$

Zwischen I und v_s besteht während des ganzen Unterbrechungsvorganges die Beziehung:

$$J = \frac{v_s}{w_ü} = \frac{v_{so} + \Delta v}{w_ü}.$$

Wegen

$$\Delta v = - Z/2 \cdot \Delta J$$

wird

$$J = \frac{v_{so} - Z/2 \, \Delta J}{w_ü}$$

und, I durch $I_o + \Delta I$ ersetzt,

$$J_o + \Delta J \left(1 + \frac{Z/2}{w_{\ddot{u}}}\right) = \frac{v_{so}}{w_{\ddot{u}}}.$$

$$-Z/2\,\Delta J = \Delta v = \frac{v_{so}\left(\frac{Z/2}{w_{\ddot{u}o}} - \frac{Z/2}{w_{\ddot{u}}}\right)}{1 + \frac{Z/2}{w_{\ddot{u}}}}$$

$$\Delta v = v_{so}\left(1 - \frac{w_{\ddot{u}o}}{w_{\ddot{u}}}\right)\frac{1}{\frac{w_{\ddot{u}o}}{Z/2} + w_{\ddot{u}o}/w_{\ddot{u}}}.$$

Am Ende der Schaltdauer — dem Punkte maximaler Überspannung — wird $w_{\ddot{u}}$ unendlich groß und

$$\Delta v = v_{so} \cdot \frac{Z/2}{w_{\ddot{u}o}} = J_o \cdot \frac{Z}{2},$$

im Einklang mit der früheren Berechnung. Danach wird auch hier die Endhöhe der Spannung nur durch den konstanten Wellenwiderstand und die Stärke des unterbrochenen Stromes I_o bestimmt.

b.) verschwindende Parallelkapazität.

Das Schaltschema wird durch Abb. 12 dargestellt

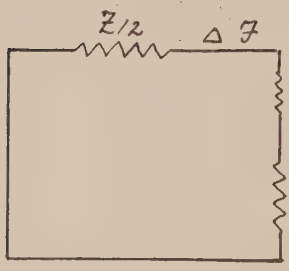

Abb. 12

Es bleibt die Bedingung zwischen Ausgleichsstrom und -spannung erhalten:

$$\Delta v = -Z/2\,\Delta J$$

Δv ist aber hier nicht mehr gleich der Spannungsänderung v_s an der Unterbrechungstelle allein, sondern I muß — die Bezeichnungen aus der vorigen Rechnung übernommen — berechnet werden aus:

$$J = \frac{V_o + \Delta V}{W_{\ddot{u}} + W_n}.$$

Die weitere Entwicklung ergibt:

$$J = \frac{V_o - Z/2\,\Delta J}{W_{\ddot{u}} + W_n},$$

$$J = J_o - \Delta J = \frac{V_o}{W_{\ddot{u}o} + W_n} - \Delta J.$$

$$\triangle J \left(1 + \frac{Z/2}{w_{\ddot{u}} + w_n}\right) = v_o \left(\frac{1}{w_{\ddot{u}} + w_n} - \frac{1}{w_{\ddot{u}o} + w_n}\right),$$

$$\cdot Z_{/2} \quad \triangle J = \triangle v = \frac{v_o \left(\frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}o} + w_n} + \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}} + w_n}\right)}{1 + \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}} + w_n}}$$

Die Überspannung $\triangle v_s$ an der Unterbrechungstelle ist in diesem Falle $\frac{w_{\ddot{u}}}{w_{\ddot{u}} + w_n}$ mal kleiner. — Wenn $w_{\ddot{u}}$ unendlich wird — also am Ende des Schaltens — wird:

$$\triangle v = \triangle v_s = v_o \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}o} + w_n} = J_o \cdot Z/_2.$$

Das Resultat ist also auch in diesem Falle das gleiche wie vorhin.

Die Rechnung zeigt mithin für das Ende des Schaltvorganges Unabhängigkeit der Überspannungshöhe von etwa vorhandenen Parallelkapazitäten und von der Zeitdauer des Unterbrechungsvorganges.

Nun ist es aber nach den oben skizzierten Betrachtungen von Wichtigkeit, sich auch ein Bild von der Ausbildung der Überspannung während des Schaltvorganges zu machen. Wir formen zu diesem Zweck zunächst unsere gefundenen Gleichungen

$$\text{a.} \quad \triangle v = v_{so} \left(1 - \frac{w_{\ddot{u}o}}{w_{\ddot{u}}}\right) \frac{1}{w_{\ddot{u}o}/Z/_2 + w_{\ddot{u}o}/w_o},$$

$$\text{und b.} \quad \triangle v = v_o \left(\frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}o} + w_n} + \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}} + w_n}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}} + w_n}}\right)$$

um, indem wir $\frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}o}}$ bzw. $\frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}o} + w_n}$ herausnehmen und mit v_{so} bzw. v_o zusammen als $J_o \cdot Z/2$ voransetzen;

$$\text{a.} \quad \triangle v = J_o \cdot Z/_2 \left(1 - \frac{w_{\ddot{u}o}}{w_n}\right) \frac{1}{1 + \frac{Z/_2}{w_{\ddot{u}}}},$$

$$\text{b.} \quad \triangle v = J_o \cdot Z/_2 \left(1 - \frac{w_{\ddot{u}o}}{w_n}\right) \frac{1}{\left(1 - \frac{w_n}{w_{\ddot{u}}}\right)\left(1 + \frac{Z/_2}{w_n + w_{\ddot{u}}}\right)}$$

$I_o \cdot Z/2$ möge konstant sein. Dann umfaßt unsere weitere Diskussion nur den übrigen Ausdruck der rechten Seite der beiden Gleichungen:

a. (große Par.-Kap.)	b. (verschw. Par.-Kap.)
$(1-\frac{w_{üo}}{w_ü})\ \frac{1}{1+\frac{Z/_2}{w_ü}}$	$(1-\frac{w_{üo}}{w_ü})\ \frac{1}{(1+\frac{w_n}{w_ü})\ (1+\frac{Z/_2}{w_ü+w_n})}$

$w_ü = w_{üo}$ (Anfang der Unterbrechung)

Da $w_{üo} \ll Z$ u. w_n : $-(1-\frac{w_{üo}}{w_ü})\ \frac{1}{\frac{Z/_2}{w_{üo}}}$	$-(1-\frac{w_{üo}}{w_ü})\ \frac{1}{\frac{Z/_2}{w_{üo}}}$.

Der Anfangsverlauf ist also mit und ohne Kapazität derselbe.

$w_ü = w_n$

(schon ziemlich gegen Ende der Unterbrechung, da wegen der guten Leitfähigkeit der beiden Kontaktflächen auch bei schon klein gewordener Berührungsfläche der Übergangswiderstand nicht erheblich größer geworden ist. Werte von der Größenordnung von w_n (10—500 Ohm) kann $w_ü$ jedenfalls erst ganz zum Schluß annehmen.)

$(1-\frac{w_{üo}}{w_n})\ \frac{1}{1+\frac{Z/_2}{w_n}}$	$(1-\frac{w_{üo}}{w_n})\ \frac{1}{2\ (1+\frac{Z/_2}{2\,w_n})}$

oder

$(1-\frac{w_{üo}}{w_n})\ \frac{1}{1+\frac{Z/_2}{w_n}}$	$(1-\frac{w_{üo}}{w_n})\ \frac{1}{2+\frac{Z/_2}{w_n}}$

Variieren wir noch die Stärke des Unterbrechungsstromes I_o, indem wir w_n ändern, so erhalten wir für das Verhältnis der Spannungen in beiden Fällen:

	a.	b.
$w_n \ll Z/_2$	1	1 ,
$w_n = Z/_2$	$1/_2$	$1/_3$,
$w_n = Z$	$2/_3$	$2/_5$,
$w_n \gg Z$	1	$1/_2$,

$w_ü = Z/2$ (gegen Ende des Schaltens)

$$\left(1 - \frac{w_{üo}}{w_ü}\right) \frac{1}{2} \qquad \left(1 - \frac{w_{üo}}{w_ü}\right) \frac{1}{\left(1 + \frac{w_n}{Z/_2}\right)\left(1 + \frac{1}{1 + \frac{w_n}{Z/_2}}\right)}.$$

Bei Variation von w_n ergeben sich folgende Verhältnisse für die Spannungswerte:

$w_n \ll Z/_2$	$1/_2$	$1/_2$,
$w_n = Z/_2$	$1/_2$	$1/_3$,
$w_n = Z$	$1/_2$	$1/_4$,
$w_n \gg Z$	$1/_2$	$\frown\ 1/w_n$.

$w_ü$ unendlich. (Ende des Schaltens)

1 | 1

Die Diskussion über die Ausbildung der Überspannung während der als endlich angenommenen Schaltdauer gibt danach folgendes Bild:

1.) Bei kleinen Wagenwiderständen (w_n bis $Z/2$; starke Unterbrechungsströme) unterscheiden sich die Zwischenwerte der Spannung in beiden Fällen (mit und ohne Kond.) nur wenig. Sie zeigen einen über die ganze Schaltzeit verteilten gleichmäßigen Anstieg der Spannung vom Anfangswerte Null bis zum Endwert. Der Einfluß der großen Parallelkapazität ist unbedeutend.

2.) Bei größeren Wagenwiderständen ($w_n \frown Z$ bis $\gg Z$; Lichtströme) verschiebt im Fall der Parallelkapazität der sich sonst über die ganze Schaltzeit erstreckende Anstieg zum Spannungsendwert mit wachsendem w_n mehr und mehr an das Ende des Schaltvorganges. Es kommt dann darauf an, ob die Zeit, in der $w_ü$ von Z bis unendlich wächst, größer oder kleiner als die Zeit des Anwachsens bis $\frown Z$ ist. Nur im ersten Falle, wo die stärkste Störwirkung in den Anfangsteil des Unterbrechungsvorganges fällt, wirkt

die erwähnte Verschiebung des Anstieges störungsmildernd. Voraussetzung ist dabei noch, daß der ganze Unterbrechungsvorgang länger dauert als 2π-tel Periode der Empfangsapparatur oder als die Hin- und Rücklaufzeit etwaiger Reflexionswellen.

c. Laboratoriumsversuche.

Um die Ergebnisse der Materialuntersuchungen in bequemer Weise nachprüfen zu können, und die Versuche eventuell sowohl auf kleinere und größere Unterbrechungsstromstärken als auch auf weitere Materialien ausdehnen zu können, wurde versucht, im Laboratorium eine Anordnung zu schaffen, die den Verhältnissen entsprach, vgl. Abb. 13. Ein passend bemessener Widerstand W, dessen

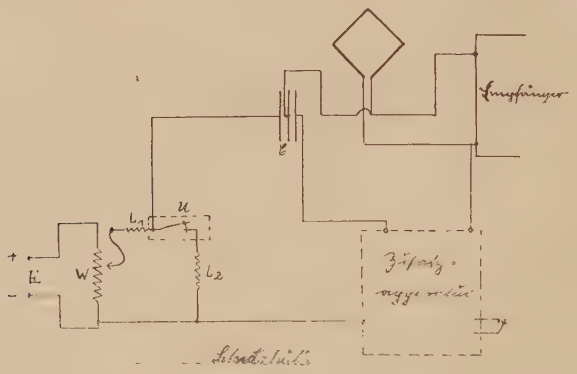

Abb. 13.

Enden an den Polen der Hausbatterie lagen die Spannung war meistens 144 Volt, diente in Spannungsteilerschaltung dazu, in einem Kreise, der außer dem Widerstand aus zwei Lampen L_1 und L_2 und einer Unterbrechungsstelle U bestand, eine gewünschte Stromstärke zu erzeugen. Dieser Kreis, in dem die Lampe L_1 den Widerstand der Leitung, L_2 den Nutzwiderstand des Motorwagens, U die Unterbrechungsstelle Stromabnehmer Fahrdraht und die am Läufer von W liegende Spannung die Elektrizitätsquelle der Bahn darstellen sollten, war in derselben Weise, wie die zum Vergleich der Geräusche dienende Zusatzapparatur mit einem kleinen Kondensator C in der aus der Zeichnung hervorgehenden Weise mit der Antenne gekoppelt. Die Unterbrechungsvorrichtung bestand aus einem am positiven Pol liegenden Platinspitze, die mit Hilfe eines Hartgummihebels auf das darunter von zwei Messingklemmen (am

negativen Pol liegend) gehaltene Material gesenkt werden konnte und dadurch den gewünschten Kontakt hervorbrachte. Diese Unterbrechungsvorrichtung war in einem geerdeten Weißblechkasten untergebracht, um unerwünschte Koppelungen mit der Antenne oder direkt mit den Spulen oder Transformatoren des Empfängers zu vermeiden.

Mit dieser Apparatur wurde eine Reihe von Materialien auf die Abhängigkeit der bei Stromunterbrechung hervorgebrachten Geräuschstärken von der Stärke des unterbrochenen Stromes hin untersucht. Die Stücke, die in der Form von Zylindern oder Stäben vorlagen, wurden zwischen die Messinghalter geklemmt und dann wurde bei verschiedenen Stromstärken von 0,10—0,75 Amp. der Stromkreis durch den beweglichen Platinkontakt geöffnet und geschlossen. Die im Kopfhörer wahrgenommenen Geräusche lagen in den Gebieten und hatten den Charakter der Straßenbahnstörungen. Aber erstens waren im Gegensatz zu den meisten betriebsmäßigen Ergebnissen die Schließungsgeräusche stärker als die Öffnungsgeräusche und zweitens wurden allgemein die Geräusche mit steigender Unterbrechungsstromstärke lauter. Dieses Ergebnis, das einer der grundlegenden, im Betriebe gemachten Erfahrungen widerspricht, hatten in gleicher Weise die Untersuchungen von 10 Materialien (Kohle, Aluminium, Zink, Eisen usw.); abweichend voneinander waren lediglich die Geräuschstärken bei den Maximalströmen. Kohle störte am wenigsten (250), Aluminium am stärksten (500 und mehr). Die Versuche sind nicht weiter verfolgt worden, weil sie zeigen, daß die Störungsbedingungen im Betriebe doch sehr von denen des Laboratoriums abweichen. Hierzu soll nur noch eine Beobachtung erwähnt werden. Wenn die von dem System E.W.U gebildete Störungsanordnung anstatt in 30—50 cm Entfernung 3—4 m weit von der Antenne war, — die Störung jedoch, ebenso wie früher, kapazitativ übertragen wurde — war nunmehr, wie auf freier Strecke, eine Abnahme der Störstärke mit zunehmendem Unterbrechungsstrom zu bemerken.

Zusammenfassung.

1.) Es wird eine Apparatur zum Messen von Straßenbahn-Unterbrechungsgeräuschen in Radioempfängern beschrieben, welche die lineare Geräuschstärke auf einer Widerstandsskala abzulesen gestattet.

2.) Es wird mit dieser Apparatur festgestellt, daß das Abklingen der von einem Wagen bei Unterbrechungs-

vorgängen ausgesandten linearen Störstärken senkrecht zur Linie nach einem Entfernungsgesetz proportional r^{-2} bis r^{-3} erfolgt, während längs der Linie — jedenfalls im Bereich einer 2 km langen blind endigenden Strecke — eine Abnahme der Störstärke nicht eintritt.

3.) Das Überfahren eines Speisepunktes bewirkt, bei Isolation der beiden Strecken gegeneinander, eine Abschwächung der Störstärke auf auf etwa 1/3; Speisepunkte, die beiderseitig speisen, haben anscheinend keinen merklichen Einfluß.

4.) Die Blockierung der Linie durch einen dazwischen aufgestellten stromlosen Wagen bewirkt in den verschiedenartigen Geräuschen eine Verminderung auf $^2/_3$ bis $^1/_6$.

5.) Die Untersuchung der Abhängigkeit der Störstärke vom Material des Stromabnehmers ergab für die untersuchten Materialien (bei positivem Fahrdraht [Cu]; Spannung 460—600 Volt) folgende Reihenfolge im Sinne zunehmender Störungsstärke:

a. Öffnungsgeräusch

Kohle, $PbS = Bi_2S_3$, Zink, Messing, Eisen, Aluminium;

b. Schließungsgeräusch

Kohle = $PbS = Bi_2S_3$, Zink = Aluminium, Messing = Eisen. Die Öffnungsgeräusche sind die Ausschlaggebenden. Die Versuche beziehen sich auf Unterbrechungsströme von 0,2—1,5 Amp. und ergeben in diesem Intervall merkliche Konstanz der Schließungsgeräusche und mehr oder weniger starken Abfall der Öffnungsgeräusche. Bei einer Versuchsreihe zwischen 0,2 und 2,5 Amp., bei der die Geräuscheindrücke von Öffnung und Schließung nicht getrennt wurden, ergab sich im ganzen die Reihenfolge:
Kohle, Zink, Stahl, Lagermetall, Aluminium, Kupfer, Bronze.

6.) Versuche der Kondensatorüberbrückung des Motors ergaben bei Kapazitäten von 1—6 MF eine Veränderung des Geräuschcharakters der Öffnungsgeräusche unter gleichzeitiger Intensitätsverminderung auf etwa $^1/_3$ bei normalem Lichtstrom. Bei kleineren Strömen war der Unterschied auffälliger.

7.) Eine theoretische Diskussion des Einflusses einer großen Kapazität auf den Spannungssprung am Fahrdraht beim Abheben des Stromabnehmers ergab folgende Resultate.

Der gesamte Spannungssprung (bei unendlich langer Leitung) wird überhaupt nicht beeinflußt. Die Zwischenwerte der Spannung bei endlichen Unterbrechungszeiten werden bei Wagenwiderständen, die den halben Wellenwiderstand der Leitung nicht übersteigen, ebenfalls kaum beeinflußt. Bei größeren Wagenwiderständen (kleine Unterbrechungsströme) tritt der Spannungsanstieg am Fahrdraht beim Anlegen der Kapazität vorwiegend in dem Zeitintervall auf, in dem der Übergangswiderstand über den Wellenwiderstand des Fahrdrahtes gestiegen ist; es hängt dann jedoch von dem genaueren Verlauf des Unterbrechungsvorganges ab, ob hierdurch eine Verminderung der Störstärke bedingt wird. Daneben wird durch eine große Kapazität während des ganzen Unterbrechungsvorganges die Überspannung des Fahrdrahtes auf die Unterbrechungsstelle konzentriert, so daß, wenn damit Bogenbildung begünstigt wird, schon aus diesem Grunde die Unterbrechungssprünge gemildert werden.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden auf Anregung und unter Leitung von Herrn Professor Dr. W. Schottky, Rostock, ausgeführt. Ich bin Herrn Professor Schottky für seine gütige Unterstützung und Beratung zu großem Dank verpflichtet.

Bei der Durchführung der Versuche erfuhr ich weitestgehende und liebenswürdige Unterstützung von verschiedenen Seiten.

Das Zentrallaboratorium des Wernerwerks der Siemens & Halske A.-G., Berlin-Siemenstadt, überließ mir einen geeigneten Empfangsapparat und die für die Versuche nötigen Batterien, Kondensatoren usw. Die Herren Direktor Dr. Lüschen und Oberingenieur A. Clausing brachten der Arbeit reges Interesse entgegen.

Für die hiesigen ausgedehnten praktischen Versuche stellte Herr Direktor Siegmann von der Rostocker Straßenbahn A.-G. Personal und Wagenmaterial zur Verfügung.

Ferner wurden die Versuche durch die Abteilung Bahnen der Siemens-Schuckert A.-G., Bln.-Siemenstadt, die Firma Gebr. Siemens, Bln.-Lichtenberg, und die Rostocker Postbehörde (Technische Stelle) in weitem Maße gefördert.

Allen Genannten gestatte ich mir, an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Tabelle I.

(Blatt 1)

Kohle

Stromstärke	Öffnen (Störstärken)	Schließen
0,23 Amp.	100—250	250
0,46 „	0— 50	250—500
1,00 „	0	250—500

Messing

0,23 Amp.	1000—1500 knallend und		1500 knallartig
0,46 „	1000—1500 hart kratzend.		1500 „
0,69 „	100	zischend	250—500 „
1,00 „	50	„	250—500 „
1,46 „	50	„	250—500 „
1,69 „	50	„	250—500 „
2,00 „	30	„	250—500 „

Zink

0,23 Amp.	250(-1000) kratzend	500
0,46 „	100, wenn knallartig 500, wenn kratzend	500
1,00 „	50 zischend	250
1,46 „	0	

Tabelle I.

(Blatt 2)

Aluminium

Stromstärke	Öffnen	Schließen
0,23 Amp.	2000 scharf kraßend	500 knallend
0,46 „	2000 „ „	500 „
1,00 „	1500 „ „	500 „
1,46 „	50 zischend	500 „

PbS und Bi_2S_3

0,23 Amp.	100 scharrend, zuweilen knallend	250 knallartig
0,46 „	30—50 zischend	250 „
1,00 „	30 „	250 „
1,46 „	0	250 „

$PbS + Bi_2S_3$ (Gemisch)

0,23 Amp.	250 meist knallend, sonst hart scharrend	500 knallartig
0,46 „	100 scharrend	250—500 „
1,00 „	50—100 zischend	500 „
1,46 „	50 „	500 „

Tabelle II.

(Blatt 1)

Kohle

Stromstärke	Öffnen	Schließen
0,2 Amp.	500—1000	/
0,5 „	0	1000
1,0 „	0	250—500
2,5 „	0	250—500

Kupfer

0,2 Amp.	2000	2000
0,5 „	2000	2000
1,0 „	2000	2000
2,5 „	0	250—500

Zink

0.2 Amp.	1000—1500	1000—1500
0,3 „	60% = 0 40% = 1000—1500	1000
0,4 „	80% = 0 20% = 1000—1500	1000
0,5 „	0	1000
1,0 „	0	500—100
2,5 „	0	500

Stahl

0,2 Amp.	2000—2000	/
0,5 „	2000	1500
1,0 „	0—2000 (40% Häufigkeit)	1000
2,5 „	0	500

Tabelle II.

(Blatt 2)

Bronze

Stromstärke	Öffnen	Schließen
0,2 Amp.	1000—1500	/
0,5 „	2000	/
1,0 „	2000	/
2,5 „	0	250—500

Aluminium

0,2 Amp	1500	1000
0,5 „	2000	1000
1,0 „	2000	1000
2,5 „	0	1000

Lagermetall

0,2 Amp.	1500	/
0,5 „	2000	/
1,0 „	2000 zuw. 500	/
2,5 „	0	500

Tabelle II.

(Blatt 3)

„1“, FeS + 1/20 ZnO

Stromstärke	Öffnen	Schließen
0,2 Amp.	1000—1500	/
0,5 „	2000	500 — fast 1500 schwankend
1,0 „	0	500
2,5 „	0	500

„3“, FeS + 1/10 ZnS

0,2 Amp.	1000—1500	schwächer
0,5 „	2000	schwächer
1,0 „	0	1000 Funkenbildung, anscheinend Kleben.
2,5 „	0	1000

„8“, FeS + 1/5 ZnO

0,2 Amp.	1500	schwächer
0,5 „	1000—1500	schwächer
1,0 „	0	500—1000 zuw. lauter
2,5 „	0	250—250 starke Funkenbildung.

Literatur.

1.) K. W. Wagner, Wissenschaftliche Probleme des Rundfunks. ETZ, 1926.

2.) F. Eppen, Über Störungen des Rundspruchempfangs durch den Straßenbahnbetrieb und seine Beseitigung. ETZ, 1924, H. 31.

3.) W. Burstyn, Über lichtbogenfreie Unterbrechung elektrisch. Ströme. ETZ, 1920, S. 503.

4.) F. Eppen, Neuere Ergebnisse in der Beseitigung der Störungen des Rundfunkempfanges durch den Straßenbahnbetrieb. ETZ, 1927, H. 4.

5.) H. Rüdenberg, Elektrische Schaltvorgänge. Berlin, 1924, J. Springer.

6.) W. Schad, Über die Entstehung und Bekämpfung der Empfangsstörungen. Sendung, 1927, H. 19 und 20.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Werner Karl Ludwig Friedrich Bernitt, am 11. August 1902 zu Mandelshagen bei Rostock als Sohn des Lehrers Heinrich Bernitt und seiner Ehefrau Magdalena, geb. Gütschow. Meine Eltern verlegten im Jahre 1905 ihren Wohnsitz nach Ribnitz. Dort besuchte ich von Ostern 1912 an die städtische Realschule. Nach im März 1918 bestandener Schlußprüfung wurde ich zu Ostern des gleichen Jahres in die Obersekunda der Oberrealschule zu Wismar aufgenommen. Dort bestand ich im März 1921 die Reifeprüfung und ging zum Sommersemester 1921 nach Göttingen, um Physik, Mathematik und Chemie zu studieren. In Göttingen bestand ich am 28. Februar 1922 das staatliche Turnlehrerexamen. Vom Wintersemester 1922/23 ab studierte ich in Rostock.